



La sostenibilidad en los proyectos de ingeniería

Jordi Garcia, Helena García, David López, Fermín Sánchez, Eva Vidal, Marc Alier y Jose Cabré

Universitat Politècnica de Catalunya – UPC Barcelona Tech
c/Jordi Girona 1 i 3, Campus Nord UPC, Mòdul B6, 08034 Barcelona
Barcelona

jordig@ac.upc.edu, helena.garcia@est.fib.upc.edu, david@ac.upc.edu, fermin@ac.upc.edu,
eva.vidal@upc.edu, granludo@essi.upc.edu, jose.cabre@upc.edu

Resumen

El Trabajo de Fin de Grado representa la última prueba para que el estudiante de grado demuestre que está preparado para ejercer como ingeniero, elaborando y defendiendo un proyecto de envergadura. El proyecto debe cumplir todos los requisitos que se exigen a un proyecto de ingeniería, desde el análisis del problema hasta la presentación de una solución.

Los autores del presente trabajo pensamos que todo proyecto de ingeniería debe incorporar un informe de sostenibilidad que demuestre que el proyecto es sostenible en los ámbitos social, ambiental y económico. Existe poca experiencia en este tema, tanto en la empresa como en la universidad, ya que las empresas (algunas) hace pocos años que han incorporado la sostenibilidad como uno de los criterios de realización de sus proyectos y las universidades apenas han comenzado a trabajar en esa dirección. En este trabajo se presentan algunas reflexiones sobre cómo debería ser tratada la sostenibilidad en un proyecto de ingeniería, y en particular cómo se pueden aplicar estas ideas al Trabajo de Fin de Grado.

Palabras clave: Sostenibilidad, proyectos de ingeniería, trabajo final de grado, compromiso social.

1. Introducción

La sostenibilidad es uno de los principales retos del siglo XXI. A partir de la publicación en 1987 del informe Brundtland, existe un gran consenso en que debemos ser conscientes de los límites del planeta y de las injusticias sociales que se cometen cada día, y de que es importante trabajar de una manera sostenible. Sin embargo el concepto sostenibilidad ha recibido muchas críticas, la mayoría de ellas relacionadas con la vaguedad del término, al ser aparentemente confuso y estar lleno de contradicciones, con la falta de operatividad, con la indefinición de lo que se debe o no sostener, o con las lista de necesidades que se han de satisfacer. De hecho, sostenibilidad es una palabra plástica. Las palabras plásticas son aquellas de significado ambiguo pero con una connotación inequívocamente positiva, que hacen sonar mejor aquello a lo que acompañan. Lamentablemente los políticos y empresarios se aprovechan de la plasticidad de la palabra sostenibilidad, usándola de forma frívola para vender mejor sus ideas y productos. Así, nos encontramos con términos como «coches sostenibles» (pueden ser eléctricos, o de bajo consumo, o de bajas emisiones, pero decir que son sostenibles no tiene sentido) o incluso expresiones tan curiosas como «crecimiento

sostenible».

Para alcanzar la sostenibilidad hace falta concretar definiciones y procedimientos en todas las áreas del conocimiento humano [3], lo que incluye la ingeniería. La introducción de aspectos de sostenibilidad en los estudios de ingeniería en general [9] y en Ingeniería Informática en particular [6] han sido motivo de discusión. Se han propuesto actuaciones concretas, relacionadas con temas de cooperación con grupos sociales desfavorecidos [2, 4], o introducido conceptos de sostenibilidad en algunas asignaturas [7, 10], pero hace falta una visión global de la sostenibilidad [12]. Pese a que es imprescindible trabajar la sostenibilidad a lo largo de distintas materias del plan de estudios, el mejor lugar donde se puede obtener una visión holística de la sostenibilidad y alcanzar un mayor impacto en el trabajo de los ingenieros es en lo que será la principal tarea de nuestros egresados: los proyectos de ingeniería en los que trabajen.

En nuestra opinión, pretender proponer una lista exhaustiva de indicadores con métricas y referencias, que delimiten lo que es y lo que no es sostenible, supondría una tarea tan ardua y ambigua como poco útil. ¿Dónde están los límites de la sostenibilidad? Nosotros nos inclinamos a pensar en razones

éticas —que no morales—: El ingeniero ha de ser responsable, ante sí mismo y ante la sociedad, y de acuerdo con el conocimiento que tiene a su alcance, de la honestidad de su proyecto. Pero todo ello resulta, inevitablemente, muy ambiguo. Por ello, la base de nuestra propuesta consiste en proponer una batería de preguntas que inviten al ingeniero a reflexionar sobre si la “honestidad” de su trabajo es, o no, sostenible.

Todo proyecto de ingeniería nace de la necesidad de resolver un problema o de materializar una idea. Cualquier proyecto que deba ser llevado a ejecución está sujeto a un estudio de viabilidad desde diversos puntos de vista o criterios de decisión: comercial o de adecuación (¿existe una necesidad del producto que ofrezco?), técnico (¿somos técnicamente capaces de desarrollar nuestra idea? ¿necesitamos ayuda experta?), económico (¿cuánto costará desarrollarla? ¿cómo nos vamos a financiar? ¿cuánto costará amortizar los costes y llegar a beneficios netos?), organizativo (¿cuánto tiempo nos costaría ponerlo en explotación?, ¿cuánto esfuerzo debemos dedicar a mantener nuestro producto/atender las necesidades derivadas de los clientes?) o legal (¿cumplimos la legislación que afecta a nuestro proyecto?).

Este tipo de preguntas aparecen explícitamente en varias metodologías formales de gestión de proyectos y, en todo caso, son preguntas de sentido común que todo ingeniero competente se debería plantear en las fases iniciales del proyecto. Por tanto, los propios requisitos del proyecto incluyen elementos cuyo origen no sólo va ligado a la naturaleza del problema a resolver o a la idea a materializar, sino que se originan en los requisitos contextuales económicos, de mercado, técnicos, organizacionales y definen en buena parte el tipo de producto que se va a realizar y el proceso mismo del proyecto.

En estos requisitos es donde debe considerarse el estudio de viabilidad desde el punto de vista de la sostenibilidad. Se acepta comúnmente que la sostenibilidad tiene tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental. Muchas de las preguntas anteriormente planteadas ya están relacionadas con la sostenibilidad, principalmente en la parte económica y en menor medida en la parte social. La componente ambiental puede añadirse con preguntas como ¿hay un plan para reducir los residuos generados en el proceso de fabricación, distribución y eliminación del producto? Pero por encima de todo es preciso considerar en las tres dimensiones la componente ética de responsabilidad personal y profesional del ingeniero.

Como resultado, podemos plantearnos preguntas como ¿tendremos en cuenta la política de nuestros proveedores respecto a sus empleados? O, si necesitamos un *call center* de ayuda, ¿dónde se ubicará y qué condiciones tendrán sus trabajadores? Este tipo de preguntas también deben tenerse en cuenta a la hora de definir los requisitos del proyecto.

Plantearse este tipo de preguntas en proyectos reales será un buen ejercicio académico para los actuales y futuros ingenieros. Este artículo presenta un estudio realizado para incluir estos conceptos en la guía del Trabajo de Final de Grado (TFG) de la Ingeniería Informática de la *Facultat d'Informàtica de Barcelona*, donde seguimos la idea de establecer una serie de preguntas que inviten al estudiante a re-

flexionar sobre la forma de afrontar su trabajo, tal como proponemos en un artículo anterior [1]. Sin embargo, las ideas y métodos discutidos sirven en general para cualquier proyecto TIC y, por extensión y con ciertos retoques, para cualquier ingeniería.

2. La sostenibilidad en un proyecto de ingeniería

Pensamos que el proceso de reflexión realizado a partir de la idea de responder un conjunto de preguntas permitirá a los ingenieros incluir conceptos de sostenibilidad en las propias especificaciones del proyecto. Para ello es conveniente reflexionar sobre algunas ideas y conceptos relacionados con la sostenibilidad y con el proyecto académico.

En primer lugar, ¿qué significa realmente la sostenibilidad? ¿En qué afecta a un proyecto de ingeniería? Existen muchas y diferentes interpretaciones, puntos de vista y matices sobre lo que se debería o no tener en cuenta, prácticamente tantos como tipos de proyecto de ingeniería pueda haber. ¿Es o no sostenible, bajo un punto de vista ambiental, la realización de un proyecto que minimice el impacto ambiental de una actividad económica existente, pero no la reduzca a cero? ¿Es o no sostenible, bajo un punto de vista social, la realización de un proyecto que mejore las condiciones laborales en una empresa, pero no incida en la mejora de la calidad de sus productos, o en los criterios de selección de sus proveedores? ¿Es o no sostenible, bajo un punto de vista económico, un proyecto que no asegure la vida de una empresa más allá de cinco años? En este sentido, la sostenibilidad no tiene que ver únicamente con el coste del nuevo producto, sino con la diferencia entre lo que va a costar y lo que estaba costando hasta el momento, es decir, la eficiencia de los nuevos procesos comparada con la de los procesos que se substituyen.

Por todo esto consideramos que no tiene sentido disponer de una plantilla predefinida con una batería exhaustiva de preguntas a responder. Lo que sí parece claro es que las dimensiones ambiental, económica y social deben abordarse de manera holística.

Normalmente, al estimar los efectos de un proyecto sobre la sostenibilidad se toman ciertas premisas que permiten realizar una valoración cuantitativa. Habría que destacar claramente qué premisas se presuponen y se debería prever un conjunto de actuaciones destinadas a validar dicha estimación. En este sentido, puede ser interesante prever en el proyecto mecanismos que permitan realizar mediciones empíricas sobre diferentes indicadores relacionados con la sostenibilidad. Además, el grado de sostenibilidad contemplado en un proyecto puede variar en función del momento en el que se valore. También es susceptible de ser considerado el caso de que el proyecto crezca más de lo previsto, ¿se mantendrán en este caso las valoraciones previstas? Aunque tampoco se debería filosofar sobre cuestiones que queden claramente fuera de contexto. Hay que limitarse al alcance previsto para el proyec-

to.

Otro aspecto a considerar como parte de un proyecto de ingeniería es la legalidad del mismo, si está adaptado a las leyes y normativas vigentes en el lugar donde se vaya a implantar (por ejemplo, la LOPD en España). También es importante tener en cuenta la accesibilidad y la usabilidad.

3. Distintos enfoques

Como hemos comentado en las secciones anteriores, la base de nuestra propuesta consiste en plantear una batería de preguntas que inviten al ingeniero a reflexionar sobre la sostenibilidad del proyecto. Exponemos a continuación algunos de los enfoques que nos hemos planteado para organizar este conjunto de preguntas, con el doble objetivo de despertar la reflexión y desencadenar la actuación.

3.1. Lista de pautas/preguntas

Este es el enfoque más básico. Consiste en disponer de una lista de preguntas sin estructura alguna, dando libertad absoluta al ingeniero para que les dé respuesta en el proyecto como considere más conveniente.

La ventaja de este enfoque es que permite hacer un *brainstorming* donde tiene cabida toda pregunta fácil y difícil de clasificar. Podemos abarcar todo tipo de proyectos de ingeniería y reflejar todo tipo de matices. La desventaja es que, quizás, resulta demasiado generalista y desestructurada, y se pierde el orden que puede llevar a una conclusión cuantitativa y cualitativa.

3.2. Lista de preguntas para los hitos de control del proyecto

En un proyecto de ingeniería se definen hitos de evaluación y seguimiento (internos o con el cliente) en los que pueden plantearse las preguntas correspondientes a la sostenibilidad del proyecto. Las preguntas deben permitir revisar el trabajo realizado y avanzar de forma sostenible hacia la siguiente etapa.

Para el caso particular del TFG, la Guía de evaluación de los trabajos de Fin de Grado y Master de las Ingenierías [13] propone que la evaluación de los TFG se realice en tres hitos: el Hito inicial, el Hito de seguimiento y el Hito final. Una posible implementación de este enfoque sobre el TFG consistiría en disponer de un conjunto de preguntas que permitan al estudiante reflexionar sobre la sostenibilidad de su TFG en cada uno de estos hitos.

El problema en este enfoque nace de la propia existencia de los hitos del proyecto. Encorsetar las preguntas en un conjunto más o menos reducido de hitos puede derivar en un planteamiento no natural y desde luego no holístico, que transforme el análisis de sostenibilidad en una obligación externa en lugar de en una respuesta natural.

3.3. Lista de preguntas clasificadas en función de la fase en que esté el proyecto

Otra opción es ordenar las preguntas según se refieran a la construcción, uso o destrucción del proyecto. Así, podemos clasificar las preguntas según se refieran a una fase u otra de la vida del proyecto (y no a un hito de evaluación en la concepción y preparación del mismo).

El problema de este enfoque radica en que la mayoría de preguntas estarán localizadas en la fase de construcción del proyecto porque, por ejemplo, su correcta destrucción desde un punto de vista ambiental dependerá de su correcta construcción.

3.4. Preguntas ordenadas según los tres ejes de la sostenibilidad

El conjunto de preguntas puede plantearse también ordenado en función de las tres dimensiones de la sostenibilidad:

- Ambiental: las preguntas pueden orientarse a partir de la comparación de la huella ecológica antes y después del proyecto, estudiar el ciclo de vida del proyecto o bien relacionarse con los nueve límites planetarios propuestos por el Stockholm Resilience Centre (cambio climático, acidificación oceánica, agotamiento del ozono, uso del agua, cambios en el uso del suelo, pérdida de biodiversidad, carga de aerosol en la atmósfera, contaminación química e interferencia humana en el ciclo Ni-Ph) [11],
- Económica: las preguntas pueden orientarse al análisis de la viabilidad económica del proyecto, de su puesta en marcha y destrucción, a si puede hacerse con menos recursos o menor impacto o si un incremento del coste se vería compensado con un aumento de los beneficios,
- Social: las preguntas pueden orientarse al estudio del impacto social sobre los usuarios, trabajadores, beneficiarios, y otros o estar enfocadas al cumplimiento de los objetivos del milenio.

La fortaleza de este enfoque está en que se sigue una metodología que se relaciona directamente con el propio concepto de sostenibilidad. Este enfoque resuelve la problemática de asignar a diferentes hitos del proyecto las diferentes preguntas que se plantean en torno a la sostenibilidad y permite la flexibilidad de un tratamiento más holístico del proyecto completo. Le falta, sin embargo, plantear una relación con las fases del proyecto, una indicación de en qué momento de la concepción o la realización del proyecto debe considerarse cada concepto.

3.5. Lista de preguntas en función de los tres ejes y de la fase en que esté el proyecto

Este enfoque se inspira en los propuestos en los dos apartados anteriores. La idea es combinar en una matriz las tres dimensiones de la sostenibilidad con las fases de las que consta

	Planificación	Desarrollo	Implantación y evolución	Desmantelado
Económica				
Social				
Ambiental				

Figura 1: Matriz dimensiones de la sostenibilidad/fases del proyecto

un proyecto de ingeniería: planificación, desarrollo, implantación y evolución y desmantelado, como se muestra en la Figura 1.

En la columna de planificación, y para cada uno de las dimensiones económica, social y ambiental, se debe considerar cuál es la situación inicial antes de realizar la actuación. La columna de desarrollo apuntará los ítems relacionados con los costes de puesta en marcha y transitorios asociados. La implementación y evaluación recogerá las preguntas relacionadas con el uso y el estado del proyecto en las tres vertientes una vez instalado y en el desmantelamiento se preguntará qué ocurre cuando el proyecto acabe.

Bajo un punto de vista metodológico de planteamiento de proyecto, este enfoque resulta más completo que los anteriores. Sin embargo, aún detectamos que adolece de la misma debilidad que los enfoques presentados en los apartados anteriores: en el momento de preparar un proyecto, lo que estamos haciendo es planificar y, en consecuencia, la mayoría de preguntas se situarán en la columna planificación. Es más, las probabilidades de que el proyecto de ingeniería resulte sostenible dependen, en gran parte, de cómo se haga la fase de planificación. De hecho, pensamos que con la ordenación temporal se pierde la versión holística que consideramos imprescindible.

3.6. La economía del bien común

El último enfoque que hemos analizado se inspira en la matriz de la economía del bien común desarrollada por Cristian Felber [5]. La economía del bien común es un proyecto económico abierto, liderado por Felber, que invita a las empresas a implantar una metodología alternativa, tanto a la economía de mercado como a la planificada, para llegar a alcanzar una economía sostenible.

La economía del bien común pretende resolver la contradicción entre los valores que desea la sociedad (honestidad, aprecio, confianza, responsabilidad, solidaridad, compartir, etc.) y los que fomenta la economía (egoísmo, avaricia, envidia, desconsideración, irresponsabilidad, desconfianza, etc.)

La medida del éxito económico a nivel macroeconómico se hace a través del cálculo del Producto Interior Bruto (PIB). Pero el PIB no nos dice nada sobre si el reparto entre los ciudadanos es justo, si hay más confianza o más miedo entre los ciudadanos, si estamos sobreexplotando los ecosistemas, si vivimos en paz o en guerra, si vivimos en democracia o en dictadura, etc.

A nivel empresarial, el éxito se mide por el beneficio financiero. Pero éste no nos dice nada sobre si se están creando o destruyendo puestos de trabajo, si la empresa produce productos ecológicos locales o armas, si la empresa destruye el medio ambiente, etc.

Felber propone que midamos el éxito de las empresas en función de su contribución al bien común y a la cooperación. Y que, en función de ello, las empresas sean recompensadas. Un caso práctico sería que, por ejemplo, en los concursos públicos se diese algún tipo de prioridad a aquellas empresas que contribuyan en mayor medida al bien común.

Para medir la contribución de las empresas al bien común, Felber propone una matriz (Figura 2) donde en las columnas sitúa los valores más comunes que encontramos en las constituciones de países (dignidad, solidaridad, sostenibilidad ambiental, justicia social, participación democrática y transparencia) y en las filas sitúa a todos aquellos colectivos que se relacionan con las empresas (proveedores, financieros, empleados, propietarios, clientes, productos, etc.). Sobre esa matriz valora una serie de criterios, desde si hay diferencias salariales entre hombres y mujeres, a la calidad de los puestos de trabajo, la participación en la toma de decisiones, el impacto ambiental, etc. Es interesante observar que algunos criterios proporcionan puntuaciones positivas, mientras que otros otorgan puntuaciones negativas, por lo que las empresas no pueden centrarse en unos pocos criterios para obtener una buena puntuación: deben tratar de considerarlos todos. La evaluación global de esos valores permitiría al consumidor escoger los productos con conocimiento de causa.

Lo más interesante de la matriz de Felber es que contempla varias dimensiones, y las preguntas pueden organizarse en función de éstas.

4. Consideraciones sobre los TFG

Aunque el trabajo presentado en este artículo se orienta a los proyectos de ingeniería, también puede ser usado en el ámbito académico para la realización del Trabajo Final de Grado. De cara a incluir la sostenibilidad en los TFG, consideramos que un planteamiento basado en cuestiones que el estudiante debe plantearse es un camino más adecuado que no el de diseñar, por ejemplo, una plantilla estándar para evaluar la sostenibilidad del proyecto una vez éste ha finalizado. Nuestro objetivo final es que los estudiantes, futuros ingenieros, perciban la sostenibilidad como una parte inherente de todo proyecto y

GRUPO DE CONTACTO ↓	Valores más comunes que encontramos en las Constituciones de países				
	Dignidad humana	Solidaridad	Sostenibilidad ecológica	Justicia social	Participación democrática y transparencia
Proveedores	Gestión ética de la Oferta/Suministros (90)				
Financiadores				Gestión ética de las Finanzas (30)	
Empleados / propietarios	Calidad puesto de trabajo e igualdad (90)	Reparto justo del volumen de trabajo (50)	Promoción del comportamiento ecológico (30)	Reparto justo de la Renta (60)	Democracia interna, transparencia (90)
Clientes / Productos / Servicios / Copropietarios	Venta ética (50)	Solidaridad copropietarios (70)	Concepción ecológica de productos y servicios (90)	Concepción social de productos (30)	Aumento de los estándares sociales y ecológicos (30)
Ámbito social	Efecto social en productos y servicios (90)	Aportación del bien común (40)	Reducción de efectos ecológicos (70)	Minimización del reparto de ganancias (60)	Participación en toma decisiones (30)
Criterios negativos	Quebrantar las normas de trabajo (-200)	Compra hostil (-200)	Gran impacto medioambiental (-200)	Remuneración desigual mujeres y hombres (-200)	No revelar participaciones (-200)

Figura 2: Matriz de la economía del bien común 4.0, según Felber.

aprendan a aplicar esta idea en su vida profesional.

El proyectista debe conocer y analizar el proyecto con profundidad: dónde se enmarca y los efectos derivados de su implantación. A partir de esta información, el estudiante debe plantearse una serie de preguntas que serán consideradas durante el diseño e implementación del TFG. Queremos resaltar que el proyectista no es un técnico al que se le encarga una tarea concreta, sino un candidato a ingeniero, el cual debe tener una visión global del problema a resolver.

Por otro lado, es fundamental diferenciar el concepto de TFG, como trabajo académico, del producto final resultante de la eventual puesta en marcha y utilización del producto creado (si es el caso) a partir del TFG. Es decir, el TFG abarca todo el trabajo efectuado por el estudiante durante la realización del proyecto académico: la propuesta de proyecto, el estudio previo, el diseño, la implementación, la evaluación y la redacción de la memoria, entre otras tareas, y acaba en el momento de la presentación y defensa del proyecto. Alternativamente, definimos PPP (Proyecto Puesto en Producción) como el conjunto de tareas y recursos necesarios durante el ciclo de vida del proyecto en una eventual implantación, incluyendo la puesta en marcha, el uso durante toda su vida útil y, por supuesto, también el desmantelado final.

Un análisis de sostenibilidad realizado únicamente sobre el TFG o el PPP proporcionaría una información incompleta. Por lo tanto, al realizar una estimación de los efectos de considerar la sostenibilidad en un determinado proyecto, hay que tener en cuenta el coste de la realización del TFG, por un lado, y los efectos (costes y beneficios sostenibles) derivados del PPP por otro. Ambos efectos son independientes y será muy importante identificar cada uno por separado. Nótese que podrían darse casos sorprendentes de TFG realizados respetando la sostenibilidad que implementen un PPP comple-

tamente insostenible (en la Sección 5 mostramos un ejemplo). O, al contrario, TFG realizados sin ningún criterio sostenible pero cuyo PPP es un producto completamente sostenible.

Además, habrá proyectos en los cuales podría no tener sentido hablar de sostenibilidad: habrá aspectos básicos que deberán ser tratados siempre, pero otros podrían ser opcionales, en función del tipo de proyecto. En cualquier caso, el hecho de que finalmente un proyecto sea o no considerado sostenible no debería ser una limitación o impedimento para su realización como trabajo académico. Cabe tener en cuenta que el TFG es un acto académico y, en este sentido, es interesante valorar el grado de conocimiento e ingenio de un estudiante, incluso en casos en los que el trabajo propuesto no sea sostenible. Además, el grado de sostenibilidad contemplado en un proyecto puede variar en función del momento en el que se valore.

Finalmente, haremos una reflexión y cuantificación de la importancia que debería tener la sostenibilidad en el global del TFG. Aunque se presupone que el estudiante abordará de forma natural con rigor, profesionalidad y, por lo tanto, también con criterios sostenibles, las diferentes etapas de la realización del proyecto, puede ser una buena idea tratar de cuantificar la cantidad de horas que se deberían dedicar en analizar el grado de sostenibilidad del proyecto. Por ejemplo, en nuestra facultad el TFG es de 15 créditos ECTS, lo que implica que debe realizarse en 450 horas (15 créditos \times 30 horas/crédito). Las competencias transversales tienen un peso del 40 % sobre la calificación final del TFG, y como se evalúan 7 competencias, todas con el mismo peso, se puede deducir que cada competencia se debería trabajar durante unas 25 horas ($450 \times 0,4/7$). Obviamente, este número es una aproximación simplista, ya que las competencias transversales no se trabajan de forma independiente, sino que una misma actividad puede permitir

trabajar varias a la vez. Por eso, este número puede ser una buena aproximación del tiempo específico mínimo que debería dedicarse a estudiar la sostenibilidad del proyecto en nuestra facultad, sobre todo si consideramos que la sostenibilidad debe considerarse de forma holística en el TFG, por lo que parece justificado dedicar a la sostenibilidad el tiempo suficiente.

5. Nuestra propuesta

Nuestra propuesta combina varios de los enfoques expuestos en los apartados anteriores. Inspirándonos en las ideas de Felber, hemos desarrollado una matriz que contiene una lista de preguntas que el ingeniero debe hacerse a la hora de planear y desarrollar su proyecto. La respuesta a estas preguntas dará lugar al informe de sostenibilidad del proyecto. Hemos descartado la posibilidad de usar las etapas del proyecto en los ejes de la matriz porque el enfoque resultaba demasiado complejo, además de poco útil, ya que estas reflexiones deben realizarse de forma holística integrada con la ética personal y profesional del ingeniero. También hemos descartado usar en los ejes las dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, económica y social), porque para que un proyecto sea sostenible debe considerar simultáneamente las tres dimensiones. De hecho, hay preguntas en las que dos o las tres dimensiones están presentes, y su evaluación por separado sería redundante.

En nuestra matriz se propone que en las filas haya una lista de preguntas relacionadas directamente con la elaboración del proyecto (producto/proyecto, equipo, proveedores/financiación/materiales, manufactura/distribución y vida útil), mientras que en las columnas hemos situado las preguntas relativas a consideraciones para la puesta en producción, al impacto de los resultados y a los posibles riesgos. Las celdas de la matriz contienen preguntas asociadas a las tres dimensiones de la sostenibilidad y relacionadas con la economía del bien común. Las preguntas no están formuladas de modo detallado y preciso, sino de forma deliberadamente simplificada para que sea fácil adaptarlas a cualquier tipo de proyecto. La tabla de la Figura 3 muestra nuestra propuesta. La matriz de preguntas se ha planteado para que pudiera servir en cualquier proyecto de ingeniería relacionado con las TIC, pero somos conscientes de que algunas de las preguntas sobrepasan los conocimientos que debería tener un estudiante en su TFG. Por eso, hemos señalado en verde aquellas cuestiones que sí deberían plantearse en un TFG y en negro aquellas preguntas que van más allá de lo que debería plantearse un proyectista en su TFG.

Las preguntas no deben plantearse en un punto concreto del proyecto, sino que deberían permanecer activas en la conciencia del proyectista o ingeniero durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la misma licitación de los requisitos y la definición del problema hasta su desmantelamiento final. Esto es lo que proponen McDonough *et al.* [8], aplicando los principios de ingeniería desde la “cuna” del proyecto hasta la “cuna” de lo que venga después (filosofía *cradle to cradle*).

La formulación de estas preguntas no persigue estimular respuestas inteligentes e informadas, basadas en datos y proyecciones plausibles —aunque no estaría de más—, sino despertar en los actuales y futuros ingenieros la consciencia y sensibilidad sobre la problemática que cada pregunta sugiere, pese a que en un proyecto que siga las reglas del juego de los TFG la libertad de acción del estudiante y el control sobre los resultados, o el futuro del proyecto, sean limitadas.

Somos conscientes de que, muchas veces, las respuestas a estas preguntas serán del estilo «pregunta no aplicable al contexto del proyecto» o «no dispongo de la información, los criterios o los conocimientos necesarios para responder». No obstante, la asunción del propio desconocimiento puede ser la semilla de nuevos proyectos de investigación que aporten mayor conocimiento y consciencia sobre el tema.

Tampoco se pretende vincular las preguntas a una moral concreta. Bien podría un ingeniero o estudiante, ya sea por convicción o por divertimento, adoptar una ética caótica o del “lado oscuro” y proponer un buen proyecto de ingeniería alineado con la destrucción del medio ambiente, la cohesión social o la subyugación del universo conocido. Por ejemplo, la reciente propuesta de más 35 000 internautas al Congreso de los Estados Unidos para construir una estación espacial similar a la Estrella de la Muerte de La Guerra de las Galaxias es claramente un buen proyecto de ingeniería, que puede realizarse de forma sostenible, pero cuyo uso final es de dudosa sostenibilidad (sobre todo porque el objetivo de la Estrella de la Muerte es la destrucción de planetas).

Las preguntas no asumen una línea de respuestas correctas o incorrectas, tan sólo pretenden despertar la “consciencia” del proyectista. Aunque, en este caso, el uso de la palabra “consciencia” sea una mala traducción del término inglés *awareness*, que sería ciertamente más adecuado.

6. Discusión y conclusiones

La necesidad de tener en cuenta la sostenibilidad a la hora de planificar un proyecto de ingeniería nace de manera natural si queremos ser consecuentes con nuestro entorno y con nosotros mismos, pero en la actualidad prácticamente no existen mecanismos para definir y evaluar la sostenibilidad de un proyecto.

Partiendo de una vertiente generalista, y sin perder de vista el objetivo inicial —guiar al alumno o ingeniero en la introducción de la sostenibilidad en sus proyectos—, hemos realizado una reflexión que nos ha llevado a una propuesta sencilla y completa.

Desde el primer momento, hemos buscado una visión holística de la sostenibilidad que no nos lleve a una aproximación artificiosa, sino a su integración en el proyecto de una forma global y natural. También hemos pretendido cubrir todo el alcance del proyecto, ya que un ingeniero no debe ser un mero trabajador, sino que debe ser consciente y responsable de todo lo que rodea su proyecto. Además, pensamos que el planteamiento en forma de preguntas es pedagógicamente la

Sostenible?	Consideraciones para la puesta en producción	Resultados	Riesgos
Producto / Proyecto	¿Económicamente viable? ¿Satisface alguna necesidad básica de los usuarios?	¿Mejora de calidad de vida?	¿Cambios de comportamiento de los usuarios? ¿Dependencias creadas? ¿Riesgos de uso? ¿Cambios medioambientales?
Equipo de trabajo	¿Criterios de contratación? ¿Transparencia en la información? ¿Consenso en las decisiones? ¿Condiciones de trabajo dignas/valores éticos?	¿Puestos de trabajo que se destruyen/crean?	¿Grado de implicación y satisfacción de los trabajadores?
Proveedores Materiales Financiación	¿Condiciones de trabajo dignas/valores éticos de los proveedores? ¿Criterios de selección de materiales? ¿Fuentes de energía sostenibles? ¿Financiación de banca ética?		¿Aumento de la huella ecológica? ¿Trazabilidad de la materia prima?
Manufactura Distribución	¿Reutilización de recursos de otros proyectos? ¿Optimización de consumos? ¿Transparencia en los procesos? ¿Transporte de materias primas / producto manufacturado / trabajadores?	¿Beneficios/contribución a otros proyectos?	¿Residuos fabricación/distribución? ¿Impacto ambiental?
Vida útil	¿Duración prevista y por qué? (Obsolescencia) ¿Diseño/fabricación pensado en el reciclado?	¿Necesidad de mantenimiento o modificación?	¿Reúso/reciclado/residuos?

Figura 3: Tabla propuesta para considerar la sostenibilidad en un proyecto de ingeniería/TFG.

manera más clara y directa de incitar a la reflexión del proyectista [1].

Partiendo de esta base, hemos analizado diferentes enfoques que buscan organizar las preguntas aplicando diferentes criterios: preguntas desordenadas, criterios temporales (evaluación y seguimiento en el caso de proyectos de ingeniería, hitos de evaluación en el caso del TFG), criterios de estado del proyecto (etapas), clasificación según las dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social y económica), clasificación a partir de la fase del proyecto y de las dimensiones de la sostenibilidad consideradas de forma conjunta y, finalmente, usar los criterios de la economía del bien común de Felber.

También nos hemos planteado considerar lo que algunos autores denominan la cuarta dimensión de la sostenibilidad: la dimensión institucional. De hecho, nosotros la consideramos una dimensión transversal, sin la cual no es posible plantearse con éxito las otras tres. Es evidente que, si la legislación de un país o comunidad no regula todos los límites y parámetros que permiten considerar la sostenibilidad de los proyectos de ingeniería, no podremos asegurar que los proyectos serán consecuentes con la sostenibilidad. Por lo tanto, se requiere una normativa que regule los requisitos que deben cumplir los proyectos de ingeniería para ser considerados sostenibles, normativa que lamentablemente no existe en prácticamente ningún país.

Creemos que la sostenibilidad debe considerarse de forma holística en los proyectos de ingeniería, en lugar de tratar sus dimensiones de forma separada. La matriz de la econo-

mía del bien común de Felber nos dio las claves para darle a nuestra idea un enfoque más holístico. Sus dos dimensiones —valores que miden la sostenibilidad en algunos países y agentes relacionados con las empresas— fueron las que nos proporcionaron la última pista para nuestra propuesta.

De la conjunción de un planteamiento fundamentado en preguntas, las tres dimensiones de la sostenibilidad y la matriz de Felber se extraen las bases de nuestra propuesta para definir los criterios de sostenibilidad que debe tener en cuenta un proyecto de ingeniería, y en particular un TFG.

En el caso particular del TFG, creemos que es fundamental diferenciar el concepto de TFG, como trabajo académico del producto final resultante de la eventual puesta en marcha y utilización del producto creado —Proyecto Puesto en Producción—. El TFG abarca todo el trabajo efectuado por el estudiante durante la realización del proyecto académico, mientras que el PPP se circunscribe al conjunto de tareas y recursos necesarios durante el ciclo de vida del proyecto en una eventual implantación.

Creemos que el resultado final de este trabajo es bueno porque pretende sensibilizar al ingeniero (o estudiante) de manera sencilla y directa ya desde la fase de definición de requisitos de su proyecto y por lo tanto asegura una reflexión previa sobre la sostenibilidad que influirá en el planteamiento de éste.

Los firmantes de este artículo son miembros del grupo RIMA-VISCA de la UPC Barcelona Tech. Este trabajo se ha llevado a cabo con el apoyo del grupo RIMA-VISCA, del

CCD (*Centre de Cooperació per al Desenvolupament*) y del proyecto MiPLE del Ministerio de Ciencia e Innovación español, código TIN2010-21695-C02-02.8 y el proyecto TRAILER de la Comisión Europea (<http://grial.usal.es/agora/trailerproject>).

Referencias

- [1] Marc Aliet, Jose Cabré, Jordi García, David López y Fermín Sánchez: *Preguntas para guiar el Trabajo de Fin de Grado*. En Actas de las XVIII Jornadas de Enseñanza Universitarias de la Informática, Jenui 2012, Ciudad Real, julio de 2012
- [2] Javier Alonso, David López y Javier Larrosa: *Experiencia en Proyectos Fin de Carrera de cooperación con países en vías de desarrollo*. En Actas de las XIII Jornadas de Enseñanza Universitarias de la Informática, Jenui 2007, Teruel, julio de 2007.
- [3] Jaume Cendra y Andri W. Stahel: *Hacia una construcción social del desarrollo sostenible basada en la definición de sus dimensiones y principios, articulados a partir de la ecuación IPAT. Aproximación a sus implicaciones y debates*. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, núm. 1, pp. 1–32. 2006.
- [4] Juan José Escribano Otero y María José Terrón López: *Futuros ingenieros: rompiendo barreras.*, ReVisión, vol. 4, núm. 2. 2011.
- [5] Cristian Felber: *La economía del bien común*. Deusto Ediciones S.A. , 2002.
- [6] David Franquesa, Josep-Llorenç Cruz, Carlos Álvarez, Fermín Sánchez, Agustín Fernández y David López: *Cómo formar Ingenieros en Informática en la competencia Sostenibilidad y Compromiso Social*. En Actas de las XV Jornadas de Enseñanza Universitarias de la Informática, Jenui 2009, Barcelona, julio de 2009
- [7] Robert G. McLaughlan: *Instructional Strategies to Educate for Sustainability in Technology Assessments*. International Journal of Engineering Education vol. 23, núm. 2, pp. 201–208, 2007.
- [8] William McDonough, Michael Braungart, Paul T. Anastas y Julie B. Zimmerman: *Peer reviewed: Applying the principles of green engineering to cradle-to-cradle design*. Environmental Science and Technology vol. 37, núm. 23, pp. 434–441, 2003.
- [9] National Academy of Engineering: *The Engineer of 2020. Visions of Engineering in the New Century*. National Academy Press, 2004.
- [10] Edwin K. L. Tam: *Developing a Sustainability Course for Graduate Engineering Students and Professionals*. International Journal of Engineering Education vol. 23, núm. 6, pp. 1133–1140, 2007.
- [11] Johan Rockström, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin, III, Eric F. Lambin, Timothy M. Lenton, Marten Scheffer, Carl Folke, Hans Joachim Schellnhuber, Björn Nykvist, Cynthia A. de Wit, Terry Hughes, Sander van der Leeuw, Henning Rodhe, Sverker Sörlin, Peter K. Snyder, Robert Costanza, Uno Svedin, Malin Falkenmark, Louise Karlberg, Robert W. Corell, Victoria J. Fabry, James Hansen, Brian Walker, Diana Liverman, Katherine Richardson, Paul Crutzen y Jonathan A. Foley: A safe operating space for humanity. Nature vol. 461, núm. 7263, pp. 472–475, 24 de septiembre de 2009.
- [12] Fermín Sánchez, David López y Jordi García: *El desarrollo de la competencia Sostenibilidad y Compromiso Social en la Facultat d'Informàtica de Barcelona*. En Actas de las XVI Jornadas de Enseñanza Universitarias de la Informática, Jenui 2010, Santiago de Compostela, julio de 2010.
- [13] E. Valderrama, M. Rullán, F. Sánchez, J. Pons, F. Cores, J. Bisbal: *La evaluación de competencias en los Trabajos de Fin de Estudios*. En Actas de las XV Jornadas de Enseñanza Universitarias de la Informática, Jenui 2009, Barcelona, julio de 2009



Dr. Jordi Garcia Almiñana (Barcelona, 1968) obtuvo el grado de Licenciado en Informática en la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB) en 1991 y el grado de Doctor en Informática en el Departament d'Arquitectura de Computadors en 1997, ambos de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC Barcelona Tech).

En 1991 se incorporó al Departament d'Arquitectura de Computadors como profesor asociado en la FIB y en el año 1998 obtuvo una posición de profesor Titular de Universidad. También es consultor de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) desde 1998. Sus intereses en investigación se centran en el campo de los sistemas operativos, la optimización de entornos virtuales, y el proceso eficiente de grandes cantidades de datos (*big data*), así como en la innovación docente y la educación en sostenibilidad. El Dr. Garcia fue vicedecano de extensión universitaria del 2001 al 2004, y vicedecano jefe de estudios del 2004 al 2010 en la FIB, cargo en el que fue el responsable de la puesta en marcha de los nuevos planes de estudio de la FIB adaptados al EEES. Del 2010 al 2013 fue Director Académico del Centro de Cooperación para el Desarrollo de la UPC Barcelona Tech. Fue miembro del equipo que obtuvo el premio a la calidad docente en el año 2005.



Helena García Gómez (Barcelona, 1990) es estudiante de último curso de Ingeniería Informática en la Facultad de Informática de Barcelona (UPC). Desde febrero de 2013 trabaja a tiempo parcial en Grupo Catalana Occidente Tecnología y Servicios, AIE en tareas de seguridad de la información, LOPD y metodologías de desarrollo, entre otras.

Participa activamente en la Delegación de Alumnos de su facultad y desde 2012 colabora como becaria en el proyecto de sostenibilidad STEP-FIB. Está interesada en las actividades de cooperación y concienciación social. En Julio de 2011 participó en un proyecto de cooperación con Guatemala y El Salvador para el desarrollo de las TIC a través de la UPC, con el soporte del CCD (Centre de Cooperació per al Desenvolupament) y con la colaboración y ayuda de TxT (Tecnologia per a Tothom).



David López (Barcelona, 1967) es profesor titular en la Universitat Politècnica de Catalunya, con docencia en la Facultad de Informática de Barcelona desde 1991. Desde 2004 se dedica a temas de educación, ética y sostenibilidad en la informática, habiendo publicado más de 40 artículos en estos temas. Actualmente es el presidente de la ONG Tecnología para todos (TxT). El Dr. López es miembro de AENUI.



Dr. Fermín Sánchez Carracedo (Barcelona, 1962) es Técnico Especialista en Electrónica Industrial por la E.A. SEAT (Barcelona, España, 1981), Licenciado en Informática desde 1987 y Doctor en Informática desde 1996, los dos últimos títulos obtenidos en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC BarcelonaTech, Barcelona, España). Su campo de estudio es la arquitectura de computadores y la innovación docente.

Desde 1987 trabaja como profesor en el Departament d'Arquitectura de Computadors de la UPC, donde es profesor Titular de Universidad desde 1997. Ha sido consultor de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) desde 1997 hasta 2010 y vicedecano de innovación de la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB) desde mayo de 2007 hasta junio de 2013. Desde julio de 2013 ocupa el cargo de adjunto de innovación en el decanato de la FIB. Tiene varias decenas de publicaciones relacionadas con sus temas de investigación, es revisor de numerosas conferencias y revistas nacionales e internacionales y autor y coautor de varios libros y capítulos de libro. Actualmente trabaja en el desarrollo de nuevas arquitecturas multihebra para procesadores VLIW, la sostenibilidad en las Tecnologías de la Información y la innovación en la educación universitaria.

El Dr. Sánchez es miembro de AENUI, es miembro del Co-

mité Directivo de JENUI desde septiembre de 2006 y ha sido su presidente las ediciones 2011-2013, ha sido miembro del Comité de Organización y Programa de diversas conferencias y otros eventos nacionales e internacionales, es miembro de la ONG TxT (Tecnologia per Tothom) desde 2004, director del MAC (Museo de Arquitectura de Computadores) desde Febrero de 2006 y miembro de la junta directiva del Cercle Fiber-FIB Alumni desde Noviembre de 2002.



Dra. Eva Vidal recibió los títulos de Ingeniera Superior en Telecomunicaciones y Doctora Ingeniera en Telecomunicaciones (ambos Matrícula de Honor) por la UPC BarcelonaTech. Es Profesora Titular de Universidad desde 1998 en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPC con adscripción a la

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones. Sus intereses tanto en investigación como en docencia se centran en el área de la electrónica analógica y de RF, y en la sostenibilidad y el desarrollo en el área TIC. Es autora de varias decenas de publicaciones internacionales relacionadas con sus temas de investigación. Actualmente es la directora académica del Centro de Cooperación para el Desarrollo de la UPC.



Marc Alier (Badalona-1971), responde también al nombre de Ludo.

En 1996 se graduó como Ingeniero en Informàtica por la UPC (<http://www.upc.edu>). La primavera del 2009 presentó su tesis doctoral: «Educació per a una societat de la informació

sostenible» (Educación para una sociedad de la información sostenible.)

Desde 2002 es profesor e investigador en la UPC en la Facultat d' Informàtica de Barcelona (FIB <http://www.fib.upc.edu>) donde da clases de Gestión de Sistemas de Información y Aspectos Sociales y Ambientales de la Informática. Dirige el Master de Gestion Integral de la Empresa con SAP en la UPC-School.

Desde 2004 trabaja en temas relacionados con el software libre aplicado a la educación para el desarrollo sostenible. Su labor se resume en un Tweet publicado en su cuenta de twitter (<http://twitter.com/granludo> en abril de 2009): «Ante la necesidad de mejorar el mundo, aprovechemos las TIC para aprender a Compartir, Colaborar y Hacer aquellos que nos Entretenga de verdad».

En esta línea: Colabora desde 2004 en la comunidad Moodle, pone en marcha y lidera diversos proyectos de software libre, escribe diversos blogs, produce podcasts, vídeos educativos, da conferencias e intenta consolidar un equipo de entusiastas que trabaje de forma sostenible en esta misma línea.

Se rumorea que antes del 2003 hizo de todo menos la fotosíntesis.



Jose Cabré García (Barcelona, 1958) es profesor titular en la Universitat Politècnica de Catalunya, con docencia en la Facultad de Informática de Barcelona (FIB). Especializado en el área de la macroeconomía, la política económica y la sostenibilidad. En el campo de la economía ha trabajado de asesor para

los gobiernos de Andorra y el gobierno local de la isla de Menorca. También ha participado en diversos programas Tempus (Hungría, Rumanía y Turkmenistán) y programas Alfa creando una red de colaboración entre diversas Universidades de distintos países latinoamericanos (cresunem). En estos mo-

mentos es coordinador de la competencia Espíritu Emprendedor e Innovación en la Facultad de Informática de Barcelona y miembro del grupo de investigación STEP (sostenibilidad y compromiso social de la FIB-UPC).

©2013 J. Garcia, H. García, D. López, F. Sánchez, E. Vidal, M. Alier y J. Cabré. Este artículo es de acceso libre, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons de Atribución, que permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra en cualquier medio, sólido o electrónico, siempre que se acrediten a los autores y fuentes originales